

Perkembangan Bio-Ethanol Sebagai Sumber Energi Alternatif di Indonesia

Izzul Fikry, Nanda Dwi Wuryaningrum, Aang Wahidin, Hayy Nur Abdillah, dan Rikky Leonard

Jurusan Teknik Bangunan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya
Jl. Teknik Kimia, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya
e-mail : izzulfikry@ppns.ac.id

Received 1 Agustus 2024 | Revised 24 Desember 2024 | Accepted 15 Januari 2025

Abstrak

Bio-ethanol merupakan salah satu biofuel yang digunakan saat ini. Terdapat empat generasi bahan baku untuk memproduksi bio-ethanol. Bio-ethanol generasi 1 (G1) berasal dari gula/pati tanaman, generasi 2 (G2) berasal dari limbah pertanian/perkebunan, generasi 3 (G3) berasal dari alga, dan generasi 4 berasal dari modifikasi genetika tanaman. Bio-ethanol generasi 2 merupakan bio-ethanol yang memiliki prospek terbaik di Indonesia, karena banyaknya limbah industri pertanian dan perkebunan. Namun, realitanya penggunaan bio-ethanol di Indonesia belum berjalan baik. Penggunaan bio-ethanol sebagai bahan bakar masih terkendala masalah biaya. Hal tersebut ditandai dengan gagalnya upaya pemerintah dalam penggunaan bahan bakar bio-ethanol 5% (E5) di 2020. Sehingga saat ini Indonesia baru menerapkan penggunaan bahan bakar bio-ethanol 2% (E2). Salah satu solusi yang dapat digunakan untuk menekan harga bio-ethanol adalah dengan membuat system produksi terintegrasi.

Kata kunci: Bio-ethanol, biofuel, Indonesia.

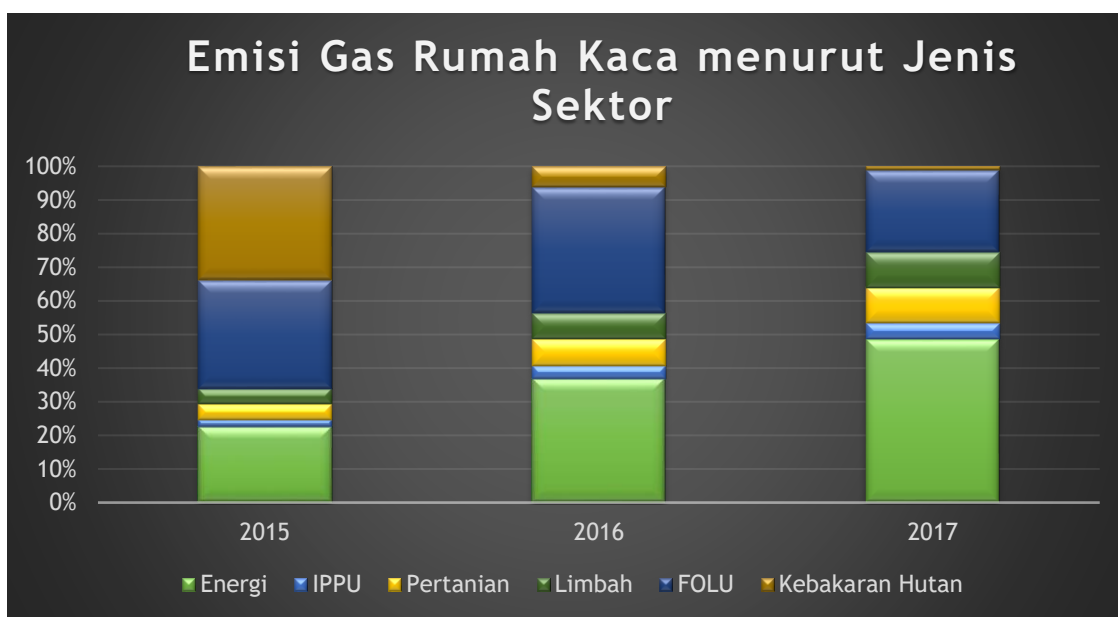
Abstract

Bio-ethanol is one of the biofuels used today. There are four generations of raw materials to produce bio-ethanol. Generation 1 (G1) bio-ethanol comes from plant sugar/starch, generation 2 (G2) comes from agricultural/plantation waste, generation 3 (G3) comes from algae, and generation 4 comes from genetically modified plants. Generation 2 bio-ethanol is the best prospects in Indonesia now, due to the large amount of waste from the agricultural and plantation industries. However, the reality is that the use of bio-ethanol in Indonesia has not been going well. The use of bio-ethanol as a fuel is still constrained by cost issues. This is marked by the failure of the government's efforts to use 5% (E5) bio-ethanol fuel in 2020. So that Indonesia has only implemented the use of 2% bio-ethanol (E2) fuel. One of solution that can be used to reduce the price of bio-ethanol is to create an integrated production system.

Key words: Bio-ethanol, biofuel, Indonesia.

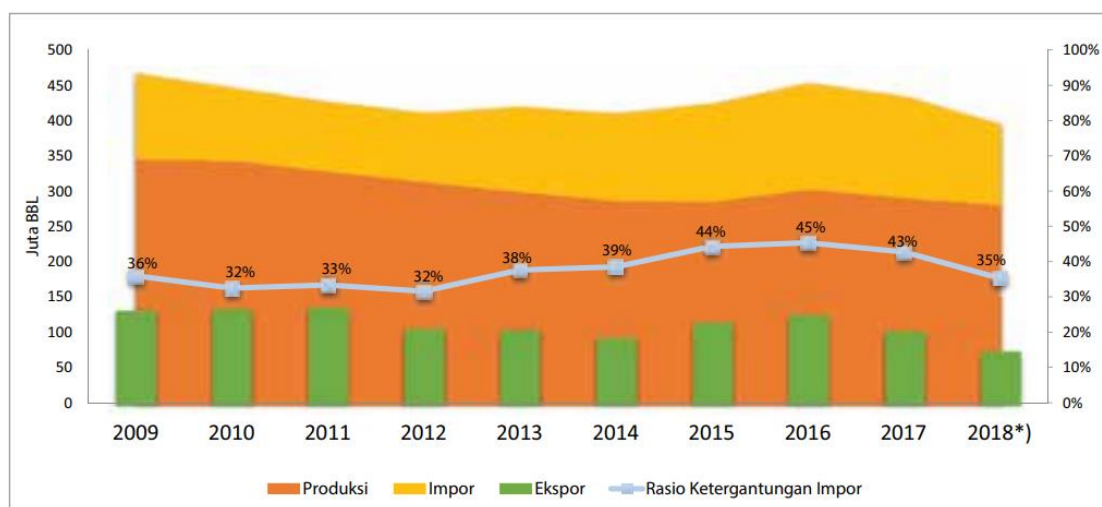
1. Pendahuluan

Emisi gas rumah kaca merupakan hal yang masih menjadi permasalahan di Indonesia. Data dari Badan Pusat Statistik (BPS) menunjukkan bahwa emisi gas rumah kaca mencapai 2.372 juta ton pada tahun 2015, 1.457 juta ton pada tahun 2016, dan 1.15 juta ton pada tahun 2017. Meskipun jumlah emisi gas rumah kaca menurun, namun hal tersebut terjadi karena jumlah emisi dari kebakaran hutan menurun. Permasalahan terjadi pada sektor energi, dimana emisi gas rumah kaca yang dihasilkan meningkat, seperti yang terlihat pada Gambar 1. Hal tersebut tentunya menjadi *concern* dari berbagai pihak di tanah air. Salah satu bahan bakar alternatif yang dapat digunakan sebagai pengganti bahan bakar fosil adalah bio-ethanol [1]. Bio-ethanol digunakan karena lebih ramah lingkungan dan memiliki ketersediaan yang cukup besar [2], [3]. Jika dibandingkan dengan dengan bensin, bio-ethanol memiliki beberapa kelebihan, yaitu nilai oktan yang lebih tinggi (106-110), kadar oksigen yang lebih tinggi, dan kadar sulfur yang lebih rendah [3].



Gambar 1. Emisi Gas Rumah Kaca menurut Jenis Sektor

Selain emisi, kebutuhan bahan bakar alternatif juga terjadi karena jumlah bahan bakar fosil yang semakin hari semakin menipis. Sumur-sumur minyak yang ada di Indonesia sudah semakin menua, sehingga jumlah produksi semakin menurun. Gambar 2 menunjukkan jumlah produksi minyak bumi yang semakin menurun dari tahun 2009 hingga 2018.



Gambar 2. Perkembangan Ketergantungan Impor Minyak Bumi [4]

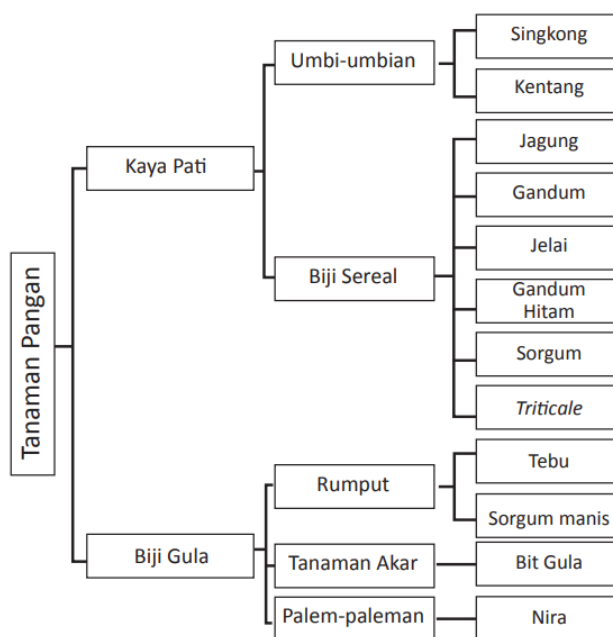
Sejalan dengan kondisi ketersediaan bahan bakar fosil yang terus berkurang, pemerintah Indonesia telah merencanakan Kebijakan Energi Nasional (KEN), dimana pada tahun 2025, penggunaan minyak bumi dalam bauran energi nasional tidak lebih dari 25%, serta konsumsi energi terbarukan sebesar 23% [3], [4]. Untuk mendukung kebijakan pemerintah, berbagai penelitian mengenai bio-fuel khususnya bio-ethanol, terus dilakukan. Untuk itu, perkembangan bio-ethanol di Indonesia akan dibahas dalam penelitian ini. Penelitian ini fokus membahas terkait pendekatan sistem produksi terintegrasi untuk mengatasi tantangan tingginya biaya produksi serta minimnya infrastruktur pendukung untuk mendorong kebijakan energi terbarukan nasional.

2. Metodologi

Penelitian ini merupakan sebuah *narrative review* yang menyajikan peninjauan mengenai perkembangan bio-ethanol di Indonesia. Penelitian ini menganalisa perkembangan bio-ethanol di Indonesia melalui berbagai penelitian yang telah dilakukan sebelumnya.

2.1. Produksi Bio-ethanol

Bio-ethanol merupakan salah satu bio-fuel yang terbuat dari biomassa yang difermentasikan, dimana biomassa tersebut mengandung pati, gula, dan tanaman yang berselulosa [1]. Terdapat empat generasi dalam perkembangan bio-ethanol dari segi bahan baku [3]. Pada generasi pertama (G1) bahan baku bio ethanol di Indonesia adalah tanaman pangan yang mengandung gula dan pati [3], seperti yang terlihat pada Gambar 3.

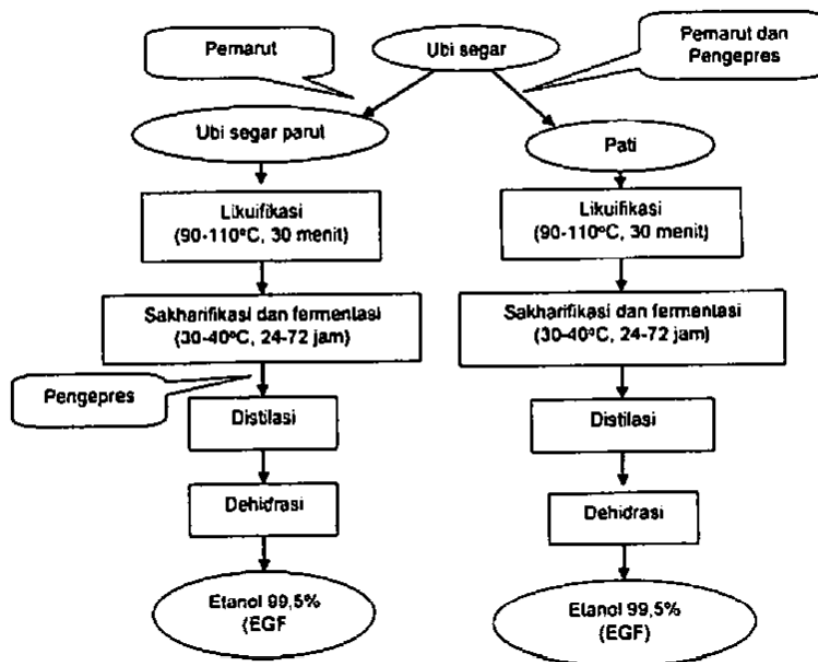


Gambar 3. Sumber Bahan Baku Bio-ethanol G1 [3]

Berbagai penelitian telah dilakukan untuk menguji tanaman pangan sebagai bahan baku bio-ethanol. Sukaryo [5] telah meneliti umbi kimpul yang ditambahkan dengan enzim α -amilase dan glukoamilase, dimana dapat dikatakan bahwa umbi kimpul dapat digunakan sebagai bahan baku bio-ethanol. Widodo [6] dan Jusuf [7] menggunakan kentang sebagai bahan penelitian bio-ethanol. Widodo [8] dan Habib [9] meneliti tentang singkong sebagai bahan baku bio ethanol. Sedangkan dari jenis tumbuhan palem, Hadi [10] menggunakan nira sebagai objek penelitiannya dan Ridmaningrum [11] yang membahas mengenai produksi dan kelayakan finansial batang sagu.

Terdapat beberapa tahapan dalam pembuatan bio-ethanol G1, tahapan tersebut adalah likuifikasi, sakarifikasi, dan pemurnian [5], [12]. Gambar 4 menunjukkan alur produksi bio-ethanol dengan bahan baku ubi kayu. Proses likuifikasi adalah proses mencampur pati/ubi parut dengan air (hidrolisasi), dimana dalam proses likuifikasi ini juga dilakukan pencampuran enzim α -amilase

[5], [12]. Proses sakarifikasi merupakan proses merubah dekstrin menjadi glukosa yang dilakukan dengan menambahkan enzim gluko-amilase, dan proses fermentasi dilakukan dengan menambahkan yeast (khamir) *Saccharomyces cerevisiae*, dua proses tersebut biasa disebut *Simultaneous Saccharification and Fermentation (SSF)* [5], [12]. Setelah melalui proses likuifikasi dan sakrifikasi, langkah selanjutnya adalah dengan melakukan proses pemurnian dengan distilasi, karena cairan hasil fermentasi hanya mengandung 6.5-12% etanol, sehingga etanol tersebut harus dipisah dengan cairan lainnya, sehingga dapat menghasilkan etanol berkadar 95% [12].



Gambar 4. Proses Produksi Bioetanol dengan Bahan Baku Ubi Parut dan Pati Ubi Kayu [12]

Meskipun bahan baku bio-ethanol G1 mudah didapat, namun terdapat beberapa hal yang menjadi batasan pengembangan bio-ethanol G1. Salah satu masalah yang dihadapi adalah harga bahan baku yang kalah bersaing dengan bahan pangan, dimana harga bahan baku akan lebih tinggi jika dijual sebagai bahan makanan [3].

Untuk menanggulangi permasalahan bahan baku bio-ethanol G1, beberapa alternatif bahan baku mulai digunakan untuk bio-ethanol G2. Bahan baku yang dapat digunakan berasal dari limbah pertanian, perkebunan, kehutanan, dan limbah industri [3], dimana bahan baku tersebut merupakan bahan baku yang mengandung lignoselulosa [13]. Terdapat tiga komponen utama dalam bahan berlignoselulosa, yaitu selulosa, hemiselulosa, dan lignin, dimana selulosa dan hemiselulosa merupakan enzim yang dikonversi menjadi ethanol [3]. Beberapa penelitian telah dilakukan dengan menggunakan beberapa jenis limbah hasil perkebunan. Miftahurrahman [14] melakukan optimasi terhadap limbah pabrik gula sebagai bahan baku bio-ethanol, sedangkan Kurniawan mengoptimasi serat buah sawit [15]. Dari segi tahapan produksi, bio-ethanol G1 dan G2 tidak jauh berbeda, dimana tahapannya adalah hidrolisis (likuifikasi), sakarifikasi, fermentasi, dan pemurnian melalui distilasi dan dehidrasi [3], [15].

Tidak hanya berhenti pada generasi ke-2, yang menggunakan bahan baku biomassa lignoselulosa, saat ini bio-ethanol juga dapat diproduksi dari alga (rumput laut), dimana jenis alga yang digunakan adalah mikroalga [3]. Generasi ini diberi julukan G3. Penggunaan mikroalga sebagai bahan baku bio-ethanol kerana dapat dipanen sepanjang tahun, menghasilkan ethanol yang lebih banyak seperti yang terlihat pada tabel 1, dapat dibudidayakan di air payau, dan dapat mengikat

CO₂, sehingga dapat mengurangi emisi Gas Rumah Kaca (GRK) [3]. Penelitian pembuatan bio-ethanol dari alga *ulva reticulata* telah dilakukan, dengan hasil yang menunjukkan bahwa alga *ulva reticulata* dapat menghasilkan kandungan ethanol sebesar 5.02% [16].

Tabel 1. Perbandingan perolehan bio-ethanol dari berbagai sumber biomassa [3]

Biomassa	Perolehan etanol (L/ha)
Bioethanol Generasi Satu	
Sorgum	3050 - 4070
Jagung	3460 - 4020
Gula Bit	5010 - 6680
Gula Tebu	6190 - 7500
Bioethanol Generasi Dua	
Tongkol Jagung	1050 - 1400
Tandan Kosong Kelapa Sawit	1087 - 1268
Bioethanol Generasi Tiga	
Alga	46760 - 140290

Dari generasi ke generasi bahan baku bio-ethanol tidak lepas dari berbagai macam hambatan. Pada bio-ethanol generasi 1, hambatan terbesar adalah kompetisi penggunaan baku untuk bahan pangan. Pada generasi 2, hambatan terletak proses pemisahan lignin yang membutuhkan bahan kimia dan energi yang besar, serta limbah lignin yang mencapai 20%-35% dari massa bahan baku. Sedangkan pada generasi 3, hambatan terjadi pada proses pemurnian yang membutuh energi yang sangat besar. Oleh karena itu bio-ethanol generasi 4 muncul dengan modifikasi genetika untuk menekan jumlah lignin, meningkatkan jumlah penyerapan karbon dioksida oleh tanaman, modifikasi genetika bakteri penghasil ethanol, meningkatkan kandungan gula/pati pada tanaman, dan membuat tanaman memiliki enzim tertentu guna mempermudah proses pemecahan lignoselulosa [3].

2.2. Bio-ethanol sebagai bahan bakar alternatif

Penggunaan ethanol sebagai bahan bakar bukanlah hal baru. Penggunaan bio-ethanol dimulai pada tahun 1908, dimana Henry Ford menggunakannya pada mobil ford T. Setelah itu bahan bakar bio-ethanol kalah pamor yang disebabkan oleh perbedaan harga dengan bahan bakar fosil. Namun bio-ethanol kembali dilirik setelah krisis energi pada tahun 1970-an [3]. Pada awal abad 21, terjadi krisis harga minyak dan mengakibatkan harga minyak dan mineral meningkat tajam, oleh karena itu masyarakat mulai melirik ethanol sebagai bahan bakar alternatif [17]. Bio-ethanol dipilih karena memiliki beberapa kelebihan, yaitu oktan number yang lebih tinggi dari bensin [18], kadar emisi timbal, sulfur, dan karbon monoksida (CO) yang rendah, serta penggunaan bio-ethanol G1 dapat mengurangi 30%-70% emisi CO₂ dan 90% pada bio-ethanol G2 [3]. Dibalik kelebihannya, bio-ethanol memiliki beberapa kekurangan dibandingkan bensin, yaitu sukarnya melakukan *starting engine* ketika suhu *engine* rendah, selain itu bio-ethanol bereaksi terhadap magnesium dan aluminium, dimana ketika bio-ethanol teroksidasi akan membentuk titik-titik air yang dapat menyebabkan korosi, sehingga jika bagian *engine* terbuat dari bahan tersebut, penggunaan bio-ethanol dapat merusak komponen *engine* [18], [19].

Pada perkembangannya bio-ethanol tidak hanya digunakan sebagai bahan bakar penuh, namun juga digunakan sebagai campuran bensin. Dalam mencampur bio-ethanol dengan bensin tentunya dibutuhkan penelitian khusus untuk memastikan tingkat keamanan terhadap mesin. Untuk campuran bio-ethanol kurang dari 15%, tidak membutuhkan modifikasi pada *engine*, namun untuk campuran bio-ethanol lebih dari 15%, dibutuhkan modifikasi *engine*, sehingga untuk

menunjang hal tersebut, berbagai pabrik mobil mengembangkan mobil yang dapat beroperasi dengan bahan bakar bensin dengan kandungan ethanol 85% (E85), dimana mobil tersebut dijuluki *Flexible Fuel Vehicles* (FFV) [3]. Mencampur bensin dengan bio-ethanol disebut dapat meningkatkan torsi dan daya, serta dapat menurunkan *Specific Fuel Oil Consumption* (SFOC) pada RPM tinggi, serta dapat mendongkrak nilai oktan bensin [18], seperti yang dapat kita lihat pada tabel 3.

Tabel 2. Perbandingan Sifat Fisika Antara Ethanol Dengan Bensin [18]

Property	Ethanol	Gasoline
Chemical formula	C ₂ H ₅ OH	C ₄ sd C ₁₀
Composition % weight		
Carbon	52.2	85-88
Hydrogen	13.1	12 -15
Oxygen	34.7	0
Octane Number		
Research Octane	108	90-100
Motor Octane	92	81-90
Density (lb/gal)	6.61	6.0-6.5
Boiling temp. (°F)	172	80-437
Freezing Point (°F)	-173.22	-40
Flash Point (°F)	55	-45
Auto Ignition Temp. (G)	793	495
Heating value		
Higher (Btu/gal)	84100	124800
Lower (Btu/gal)	76000	115000
Specific heat Btu/lb °F	0.57	0.48
Stoichiometric air / fuel, weight	9	14.7

Tabel 3. Perbandingan sifat etanol, BBM, dan E10 [3]

Sifat	Etanol	BBM	E10
Berat jenis (kg/m ³) pada 20 °C	789	790	790
Research octane number (RON)	108	95.2	98.9
Panas pembakaran (MJ/kg)	27	44	41.8
C (% berat)	52.2	86.6	83.16
H (% berat)	13.1	13.3	13.28
O (% berat)	34.7	0.03	3.5

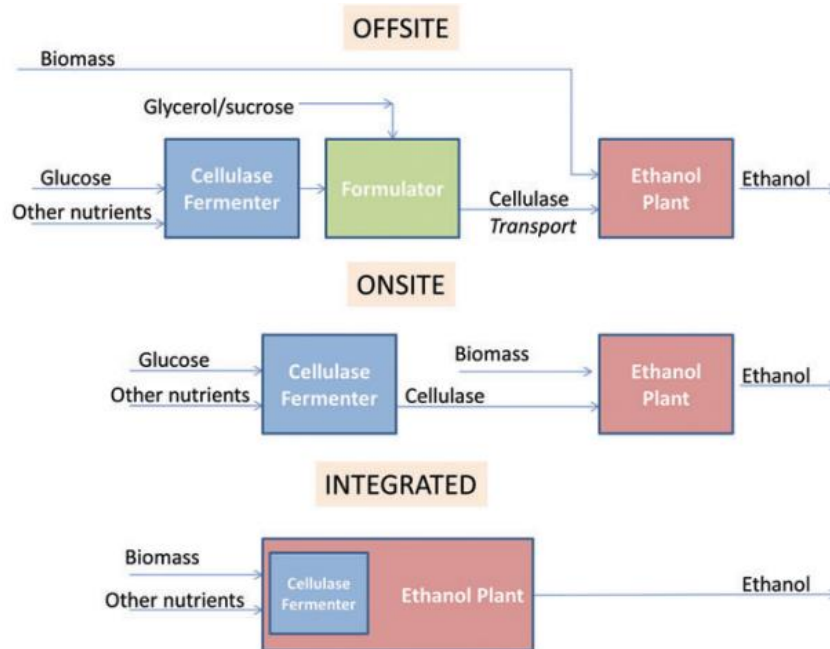
2.3. Perkembangan bio-ethanol sebagai bahan bakar alternatif di Indonesia

Dari dalam negeri penggunaan bio-ethanol telah diatur dalam peraturan Menteri ESDM nomor 12 tahun 2015, dimana pada tahun 2020 penggunaan E5 (5% bio-ethanol dan 95% bensin) diwajibkan, serta meningkat menjadi E20 pada tahun 2025, namun hal itu urung terwujud karena terkendala ongkos produksi, sehingga saat ini penggunaan E5 digantikan dengan E2. Selain itu, penggunaan bio-ethanol juga tertuang dalam Rencana Bauran Energi 2025, serta instruksi presiden tentang pemanfaatan Bahan Bakar Nabati (BBN) Perpres no. 5/2006. Target penelitian dan pengembangan bio-ethanol pada tahun 2025 adalah dikuasainya teknologi proses, desain teknik, pembangunan pabrik high/superior-performance bio-ethanol, produksi bahan bakar bio-ethanol dengan bahan baku lignoselulosa, dan produksi bahan bakar bio-ethanol secara tepat guna pada skala kecil dan menengah [3].

Kembali ke beberapa puluh tahun yang lalu, di tahun 1982, BPPT memprakarsai pembangunan pabrik etanol di Karawang, dan seiring meningkatnya permintaan etanol, beberapa perusahaan bergabung dalam lini bisnis etanol. Namun hingga 2008, hanya dua perusahaan yang berkecimpung dalam produksi bio-etanol untuk bahan bakar [2].

2.4. Peluang dan tantangan bio-etanol sebagai bahan bakar alternatif di Indonesia

Jika mengacu pada peta jalan pengembangan BBN Indonesia, dimana pada tahun 2025 kebutuhan etanol Indonesia sebesar 4.99 juta ton, maka peluang dalam bidang bio-etanol sangat besar. Peluang tersebut terbuka lebar, karena Indonesia memiliki banyak industri yang bergerak dalam bidang perkebunan dan pertanian yang dapat menghasilkan 15.81 juta ton lignoselulosa [3]. Namun hal tersebut juga memiliki tantangan berupa ketersediaan infrastruktur, kompleksitas pengolahan, dan juga biaya produksi [3]. Salah satu upaya untuk menanggulangi hal tersebut, perlu dibangun infrastruktur terintegrasi berupa biorefinery di dekat sumber bahan baku, dimana dengan sistem integrasi tersebut, biaya yang dibutuhkan 15% lebih kecil jika dibandingkan dengan infrastruktur terpisah [3], [20]. Sistem produksi terintegrasi dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Tiga pendekatan untuk produksi etanol [20]

Selanjutnya, tantangan terbesar yang dialami Indonesia saat ini dalam menerapkan penggunaan bahan bakar alternatif adalah ketergantungan yang begitu besar terhadap bahan bakar fosil, dimana hal tersebut ditandai dengan gagalnya upaya pemerintah dalam menerapkan penggunaan E5 di tahun 2020. Kegagalan tersebut sebagian besar dialami karena mahalnya ongkos produksi bahan bakar ber bio-etanol.

3. Rekomendasi

Merujuk pada kesulitan pemerintah Indonesia dalam menerapkan kebijakan penggunaan biofuel, khususnya bio-etanol yang terjadi karena faktor biaya, maka penerapan sistem produksi bio-etanol terintegrasi merupakan salah satu cara untuk menanggulunginya. Penggunaan bio-etanol di Indonesia sangat disarankan dapat lebih ditingkatkan dalam waktu dekat, untuk mempermudah proses peralihan dari bahan bakar fosil ke bahan bakar alternatif terbarukan.

4. Kesimpulan

Dari narasi yang telah disampaikan tentang perkembangan bio-ethanol di Indonesia, dapat disimpulkan bahwa bio-ethanol generasi 2 merupakan bio-ethanol yang paling rasional untuk dikembangkan di Indonesia saat ini, dimana bahan baku bio-ethanol berupa lignoselulosa sangat melimpah di Indonesia. Namun, terdapat beberapa kendala dalam penerapan bio-ethanol sebagai campuran bensin, dimana penggunaan bahan bakar E5 belum mencapai target, sehingga harus diturunkan menjadi E2 karena masalah biaya. Salah satu cara untuk dapat menekan biaya produksi bio-ethanol adalah dengan membangun infrastruktur produksi bio-ethanol terintegrasi.

5. Daftar Pustaka

- [1] V. D. Loupatty, “Pemanfaatan Bioetanol Sebagai Sumber Energi Alternatif Pengganti Minyak Tanah,” *Maj. Biam*, vol. 10, no. 2, pp. 50–59, 2014.
- [2] E. I. Riyanti, “Biomassa sebagai bahan baku bioetanol,” *J. Litbang Pertan.*, vol. 28, no. 3, pp. 101–110, 2009.
- [3] Y. Sudiyani *et al.*, *Perkembangan Bioetanol G2: Teknologi dan Perspektif*. Jakarta: LIPI Press, 2019. [Online]. Available: lipipress.lipi.go.id
- [4] Tim Sekretaris Jenderal Dewan Energi Nasional, “Indonesia Energy Outlook 2019,” *J. Chem. Inf. Model.*, vol. 53, no. 9, pp. 1689–1699, 2019.
- [5] Sukaryo, B. Jos, and Hargono, “Pembuatan Bioetanol dari Pati Umbi Kimpul (*Xanthosoma Sagittifolium*),” *J. Fak. Univ. Hasyim Semarang*, vol. 9, no. 2, pp. 41–45, 2013.
- [6] Y. Widodo, S. Wahyuningsih, and A. Ueda, “Sweet Potato Production for Bio-ethanol and Food Related Industry in Indonesia: Challenges for Sustainability,” *Procedia Chem.*, vol. 14, pp. 493–500, 2015, doi: 10.1016/j.proche.2015.03.066.
- [7] M. Jusuf and E. Ginting, “The prospects and challenges of sweet potato as bio-ethanol source in Indonesia,” *Energy Procedia*, vol. 47, pp. 173–179, 2014, doi: 10.1016/j.egypro.2014.01.211.
- [8] Y. Widodo, S. Wahyuningsih, and J. Newby, “Fuelling Cassava Development to Meet the Greater Demand for Food and Bio-fuel in Indonesia,” *Energy Procedia*, vol. 65, pp. 386–394, 2015, doi: 10.1016/j.egypro.2015.01.068.
- [9] M. Alhada, F. Habib, W. Nita, and R. Zamzami, “Be KePo (Bioetanol Ketela Pohon) Inovasi Pemberdayaan Ekonomi Masyarakat dan Solusi Sumber Energi Alternatif Terbaharuka,” *Equilib. J. Pendidik.*, vol. X, no. April, 2022.
- [10] S. Hadi, Thamrin, S. Moersidik, and S. Bahry, “Karakteristik dan Potensi Bioetanol Dari Nira Nipah (*Nypa Fruticans*) Untuk Penerapan Skala Teknologi Tepat Guna,” *J. Ilmu Lingkungan*, vol. 7, no. 2, pp. 223–240, 2013.
- [11] T. T. I. Ridmaningrum, M. S. Rusli, and D. Setyaningsih, “Produksi dan Analisis Kelayakan Finansial Agroindustri Bioetanol Batang Sagu di Kabupaten Mimika, Papua,” *Agrointek*, vol. 14, no. 2, pp. 67–74, 2020.
- [12] E. R. W. dan W. N. Richana, “Ubikayu: Kebijakan Teknis Pengembangan dan Inovasi Teknologi,” 2010, pp. 286–307.
- [13] S. K. Wahono, C. Darsih, V. T. Rosyida, R. Maryana, and D. Pratiwi, “Optimization of cellulose enzyme in the simultaneous saccharification and fermentation of sugarcane bagasse on the second-generation bioethanol production technology,” *Energy Procedia*, vol. 47, pp. 268–272, 2014, doi: 10.1016/j.egypro.2014.01.224.
- [14] Miftahurrahman, T. Rachmanto, and R. Sutanto, “Optimasi produksi bioetanol dari limbah pabrik gula (molase) dengan memvariasikan brix dan konsentrasi ragi Optimization of bioethanol production from sugar factory waste (molasses) by varying the brix and yeast concentration,” *keilmuan dan Terap. Tek. Mesin*, pp. 1–10, 2020.
- [15] E. W. Kurniawan, “Proses Optimasi Produksi Bioetanol dari Limbah Serat Buah Sawit dengan Metode SHF,” *Bul. Loupe*, vol. 16, no. 01, pp. 60–67, 2020, doi: 10.51967/buletinloupe.v16i01.77.
- [16] S. M. D. Kolo, J. Presson, and P. Amfotis, “Produksi Bioetanol sebagai Energi Terbarukan dari Rumput Laut *Ulva reticulata* Asal Pulau Timor,” *ALCHEMY J. Penelit. Kim.*, vol. 17,

- no. 2, p. 159, 2021, doi: 10.20961/alchemy.17.2.45476.159-167.
- [17] Senam, “Prospek Bioetanol Sebagai Bahan Bakar yang Terbarukan dan Ramah Lingkungan,” *Semin. Nas. Penelitian, Pendidik. dan Penerapan MIPA*, pp. 359–366, 2009.
- [18] I. G. Wiratmaja and E. Elisa, “Kajian Peluang Pemanfaatan Bioetanol Sebagai Bahan Bakar Utama Kendaraan Masa Depan Di Indonesia,” *J. Pendidik. Tek. Mesin Undiksha*, vol. 8, no. 1, p. 1, 2020, doi: 10.23887/jptm.v8i1.27298.
- [19] D. Restu Setiawati, A. Rafika Sinaga, T. Kurnia Dewi, J. Raya Palembang Prabumulih Km, and I. Ogan Ilir, “Proses Pembuatan Bioetanol Dari Kulit Pisang Kepok,” *J. Tek. Kim. No. 1*, vol. 19, no. 1, pp. 11–15, 2013.
- [20] E. Johnson, “Integrated enzyme production lowers the cost of cellulosic ethanol,” *Biofuels, Bioprod. Biorefining*, vol. 10, pp. 164–174, 2016, doi: 10.1002/bbb.